

实验十一 落球法测液体的粘滞系数

粘滞系数是液体的重要性质之一，它反映液体流动行为的特征。粘滞系数与液体的性质，温度和流速有关，准确测量这个量在工程技术方面有着广泛的实用价值。如机械的润滑，石油在管道中的传输，油脂涂料，医疗和药物等方面，都需测定粘滞系数。

测量液体粘滞系数方法有多种，落球法（又称 Stokes 法）是最基本的一种，它可用于测量粘度较大的透明或半透明液体，如蓖麻油，变压器油，甘油等。

【实验目的】

1. 学习和掌握一些基本物理量的测量；
2. 学会落球法测定液体的粘滞系数。

【实验原理】

一个在液体中运动的物体会受到一个与其速度反方向的摩擦力，这个力的大小与物体的几何形状、物体的速度以及液体的内摩擦力有关。液体的内摩擦力可用粘滞系数 η 来表征。对于一个在无限扩展液体中以速度 v 运动的半径为 r 的球形物体，斯托克斯(G.G. Stokes)推导出该球形物体受到的摩擦力即粘滞力为

$$F_1 = 6\pi \cdot \eta \cdot v \cdot r \quad (1)$$

当一个球形物体在液体中垂直下落时，它要受到三种力的作用，即向上的粘滞力 F_1 、向上的液体浮力 F_2 和向下的重力 F_3 。球体受到液体的浮力可表示为

$$F_2 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \rho_1 \cdot g \quad (2)$$

上式中 ρ_1 为液体的密度， g 为重力加速度。球体受到的重力为

$$F_3 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \rho_2 \cdot g \quad (3)$$

式中 ρ_2 为球体的密度。当球体运动某一时间后，上述三种力将达到平衡，即

$$F_1 + F_2 = F_3 \quad (4)$$

此时，球体将以匀速 v 运动（ v 也称为收尾速度）。因此，可以通过测量球体的下落速度 v 来确定液体的粘滞系数：

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot \frac{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}{v} \quad (5)$$

这里 v 可以从球体下落过程中某一区间距离 s 所用时间 t 得到，这样粘滞系数为

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot \frac{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot t}{s} \quad (6)$$

在实际测量中，液体并非无限扩展，且容器的边界效应对球体受到的粘滞力有影响，因此公式 (1) 需要考虑这些因数做必要修正。对于在无限长，半径为 R 的圆柱形液体轴线上下落的球体，修正后的粘滞力为

$$F_1 = 6\pi \cdot \eta \cdot v \cdot r \cdot \left[1 + 2.4 \cdot \frac{r}{R} \right] \quad (7)$$

这样公式 (6) 变为

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot \frac{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot t}{s} \cdot \frac{1}{1 + 2.4 \cdot \frac{r}{R}} \quad (8)$$

如果考虑到圆柱形液体的长度 L 并非无限长，还有 r/L 量级的进一步修正。

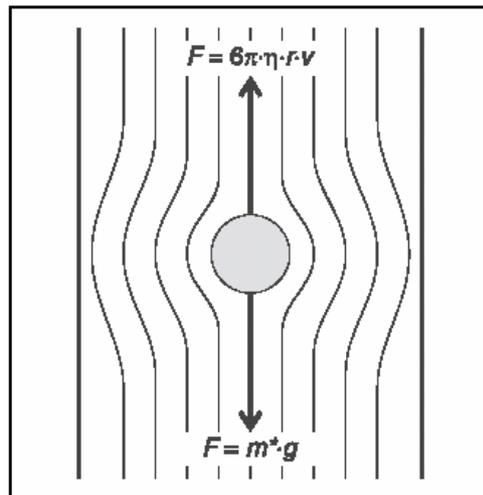
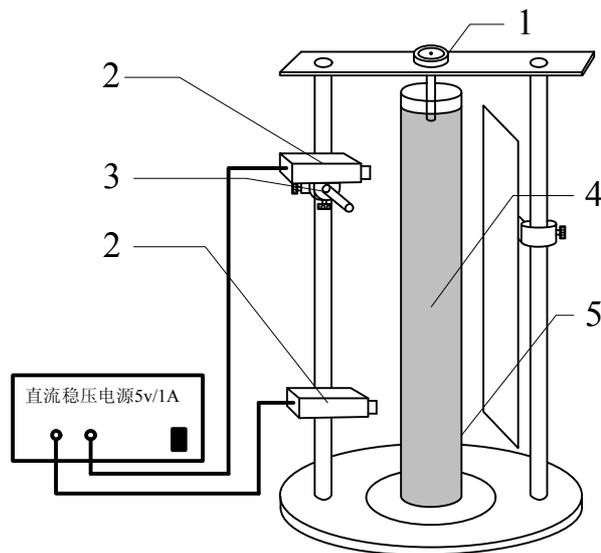


图1 液体中小球受力分析图

【实验仪器】

落球法粘滞系数测定仪（见图 2）、小钢球、蓖麻油、米尺、液晶数显千分尺、游标卡尺、液体密度计、电子天平、电子秒表和温度计等。



1: 钢球导管; 2: 半导体激光器; 3: 三维调节支架 4: 蓖麻油; 5: 量筒

图 2 落球法粘滞系数测定仪示意图

【实验内容】

1. 调整粘滞系数测定仪

(1) 调整底盘水平，在底盘横梁上放重锤部件，调节底盘旋钮，使重锤对准底盘的中心圆点。

(2) 将实验架上的上，下二个激光器接通电源，可看见其发出红光。调节上、下二个激光器，使其红色激光束平行，并对准锤线。

(3) 收回重锤部件，将盛有被测液体的量筒放置到实验架底盘中央，并在实验中保持位置不变。

(4) 在实验架上放上钢球导管。

(5) 将小球放入钢球导管，看其是否能挡阻光线，若不能，则适当调整激光器位置。

2. 测量下落小球的匀速运动速度

(1) 测量上、下二个激光束之间的距离。

(2) 放小球入钢球导管，当小球落下，阻挡上面的红色激光束时，光线受阻，此时用秒表开始计时，到小球下落到阻挡下面的红色激光束时，计时停止，读出下落时间，重复测量 6 次以上。

3. 用电子天平测量小钢球的质量 m ；用千分尺测其直径 d ；计算小钢球的密度 ρ_2 。用液体密度计测量蓖麻油的密度 ρ_1 。用游标卡尺测量量筒的内径 D 。用温度计测量液体温度（液体粘滞系数随温度变化很快，因此需要标明测量是在什么温度下进行的。）。

4. 用公式（8）计算 η 值， η 值保留三位有效数据， η 的单位为 $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ 。

【注意事项】

实验时动作仔细，不要让油洒到实验台上。

【思考题】

1. 如何判断小球达到匀速运动状态？
2. 仔细观察液体密度计的结构，说明它的工作原理。